Vol.12, No.2, Summer 2023, pp.125-145 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE DOI: 10.22067/geoeh.2022.78997.1284 Open access

Forecasting Hazardous Heat Waves in East Azerbaijan by Modeling the Sixth Climate Change Report

Sayyed Mohammd Hosseini[a*], Farhnaz Khoramabadi[b]

[a] *Assistant Professor in Climatology, Sayyed Jamaleddin Asadabadi University, Asadabad, Iran*
[b] *MA in Urban Climatology, University of Tabriz, Tabriz, Iran*

Received: 1 October 2022 ***Revised: 27 November 2022*** ***Accepted: 22 December 2022***

Abstract

Heat waves are among the most dangerous weather threats related to global warming and climate change. Two databases were used to predict the spatial changes in the intensity of heat waves in East Azarbaijan province. The daily data of the maximum temperature in 5 synoptic stations of the province inlcuding Tabriz, Maragheh, Jolfa, Ahar and Mianeh for the time period from 1981 to 2021 AD as the period of historical-base data were used. The output of the selected CanESM model under the dual economic-social scenario SSP1 is the result of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) in the future period from 2022 to 2065. The validation of the data of the basic period with the future period was done with standard measures and with the step-by-step regression technique, the intensity of heat waves in the province was explained. The results indicate that the intensity of heat waves will increase until 2065 in all the investigated stations and it will cover a large area of the province. So, in the next half of the century, the intensity of heat waves in Tabriz will be 1.3 °C, in Maragheh will be 1 °C, in Julfa will be 0.7 °C, in Ahar will be 1 °C and in Mianeh it will be 1.4 °C. Moreover, with the warming of the earth's air due to the impact of global climate changes, smaller heat waves join together and will create more intense, bigger, and lasting heat waves. The results showed that with the decrease in latitude in this province and the proximity to low-lying and low-altitude areas, the frequency and intensity of heat waves will also increase.

Keywords: Modeling, Dangerous Heat Waves, Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6), East Azerbaijan

* Corresponding author: Sayyed Mohammd Hosseini E-mail: h.climate@sjau.ac.ir Tel: + 989384694588

How to cite this Article: Hosseini, S. M., & Khoramabadi, F. (2023). Forecasting hazardous heat waves in east Azerbaijan by modeling the sixth climate change report. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *12*(3), 125-145.

DOI: 10.22067/geoeh.2022.78997.1284

Geography and Environmental Hazards
Volume 12, Issue 2 - Number 46, Summer 2023
https://geoeh.um.ac.ir
https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.78997.1284

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال دوازدهم، شمارۀ چهل و ششم، تابستان ۱۴۰۲، صص ۱۴۵-۱۲۵
مقاله پژوهشی

پیش‌نگری امواج گرمایی مخاطره‌آمیز در آذربایجان شرقی با مدل‌سازی گزارش ششم تغییر اقلیم

سید محمد حسینی[۱]– استادیار اقلیم‌شناسی، دانشگاه سید جمال‌الدین اسدآبادی، اسدآباد، ایران.
فرحناز خرم‌آبادی– کارشناس ارشد آب و هواشناسی شهری، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۷/۹ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۹/۶ تاریخ تصویب: ۱۴۰۱/۱۰/۱

چکیده

امواج گرمایی ازجمله خطرناک‌ترین تهدیدات آب‌وهوایی مرتبط با گرم‌شدن کره زمین و وردایی اقلیمی هستند که در سال‌های اخیر روندی افزایشی داشته‌اند. در پژوهش حاضر جهت پیش‌نگری تغییرات مکانی شدت امواج گرمایی در استان آذربایجان شرقی از دو پایگاه داده استفاده شده است. پایگاه نخست؛ داده‌های روزانه دمای بیشینه در ۵ ایستگاه همدید استان شامل تبریز، مراغه، جلفا، اهر و میانه برای بازه‌ی زمانی ۱۹۸۱ تا ۲۰۲۱ میلادی به‌عنوان دوره داده‌های تاریخی–پایه است. پایگاه دوم؛ برونداد مدل منتخب CanESM تحت سناریوی دوگانه اقتصادی–اجتماعی SSP1 حاصل از گزارش ششم تغییر اقلیم CMIP6 در دوره آینده از سال ۲۰۲۲ تا ۲۰۶۵ میلادی است. درستسنجی داده‌های دوره پایه با دوره آتی با سنجه‌های استاندارد انجام شد و با تکنیک رگرسیونی گام‌به‌گام، شدت امواج گرمایی استان مورد تبیین قرار گرفت. نتایج حاکی از این است که در تمام ایستگاه‌های موردبررسی، شدت امواج گرمایی تا سال ۲۰۶۵ میلادی افزوده خواهد شد و گستره بزرگی از وسعت استان را در بر خواهد گرفت. به‌طوری‌که در نیم سده آینده، شدت امواج گرمایی در تبریز با ۱/۳؛ در مراغه با ۱؛ در جلفا با ۰/۷؛ در اهر با ۱ و در میلنه با ۱/۴

---

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۳۸۴۶۹۴۵۸۸ Email: h.climate@sjau.ac.ir

نحوه ارجاع به این مقاله:

حسینی، سید محمد؛ خرم آبادی، فرحناز؛ ۱۴۰۲. پیش‌نگری امواج گرمایی مخاطره‌آمیز در آذربایجان شرقی با مدل‌سازی گزارش ششم تغییر اقلیم. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*. ۱۲(۲)،. صص ۱۴۵-۱۲۵

https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.78997.1284

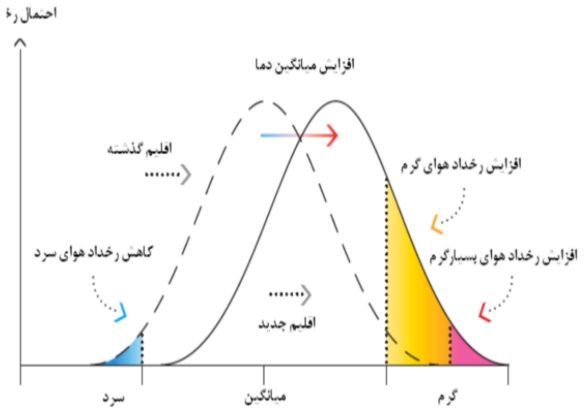
درجه سانتی‌گراد افزایش پیدا می‌کند. همچنین با گرم‌تر شدن هوای کره زمین ناشی از اثرگذاری تغییرات اقلیم جهانی، امواج گرمایی کوچک‌تر به هم می‌پیوندند و امواج گرمایی شدیدتر، بزرگ‌تر و ماناتری را به وجود خواهند آورد. همچنین نتایج نشان داد با کاهش عرض جغرافیایی در این استان و همجواری با مناطق پست و کم‌ارتفاع، بسامد و شدت رخداد امواج گرمایی نیز بیشتر خواهد شد.

کلیدواژه‌ها: مدل‌سازی، امواج گرمایی مخاطره‌آمیز، گزارش ششم تغییر اقلیم، آذربایجان شرقی.

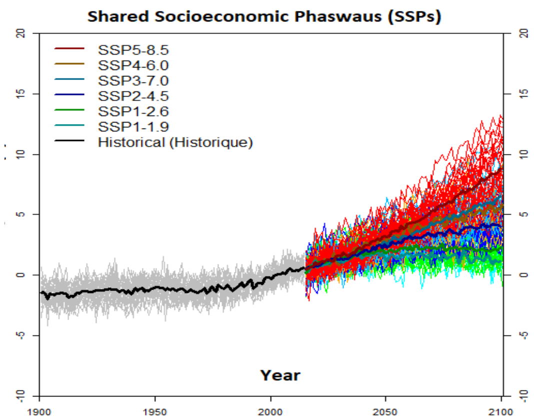
۱- مقدمه

امروزه مخاطرات جوی و اقلیمی، مخرب‌ترین و کشنده‌ترین مخاطرات طبیعی در سراسر جهان هستند که منجر به نابودی حیات زیست و رخداد مصیبت‌های اقلیمی می‌شوند (صادقی و همکاران، ۱۳۹٤). از بین مخاطرات اقلیمی، امواج گرمایی یکی از بدترین بلایای آب‌وهوایی بوده که هرساله خسارت‌های مالی، جانی و پیامدهای زیست‌محیطی مخربی را در طبیعت‌به جای می‌گذارد (بلدی و همکاران[1]، ۲۰۰٤؛ هاددو و همکاران[2]، ۲۰۰۸؛ دینگ و همکاران[3]، ۲۰۰۹؛ آستروم و همکاران[4]، ۲۰۱۱). این امواج می‌توانند در مقیاس محلی روی دهند و سبب نابودی محصولات کشاورزی، مرگ‌ومیر ناشی از گرمازدگی، آتش‌سوزی جنگل‌ها، مشکلات اقتصادی و حتی اجتماعی شوند (کانفالونیری و همکاران[5]، ۲۰۰۷؛ فاروق و همکاران[6]، ۲۰۱۱؛ علیزاده، ۱۳۹۱). این در حالی است که تغییر اقلیم و افزایش گرمایش جهانی سبب کاهش رخداد سرماهای فرین و افزایش رخداد امواج گرمایی شدید در سراسر کره زمین شده است (فولند و همکاران[7]، ۲۰۰۱؛IPCC[8]، ۲۰۰۷). این در حالی است که روند امواج گرمایی در چند دهه اخیر در حال افزایش بوده و این تغییرات در کشورهایی همچون ایران که در کمربند خشک و نیمه‌خشک دنیا واقع شده است، چشمگیرتر است (حدادی، ۱۳۸۸؛ یزدان‌پناه و علیزاده، ۱۳۹۰). (شکل ۱ و ۲).

1 Baldi et al
2 Haddow et al
3 Ding et al
4 Astrom et al
5 Confalonieri et al
6 Farooq et al
7 Folland et al
8 Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)



شکل ۱- تغییرات احتمالی رخدادهای فرین گرمایی در جهان (فولند و همکاران، ۲۰۰۱)



شکل ۲- تغییرات جهانی میانگین دمای سالانه با سناریوهای گزارش ششم تغییر اقلیم (فریکو و همکاران[1]، ۲۰۱۶)

به دلیل اهمیت موضوع، امروزه پژوهش‌های متعددی در زمینه امواج گرمایی در مقیاس منطقه‌ای و سیاره‌ای انجام شده است. به‌عنوان نمونه؛ اروپ و همکاران[2](۲۰۰۹)، با بررسی روند و عدم قطعیت امواج گرمایی در قرن ۲۱ معتقدند که امواج گرمایی شدید با قطعیت بالا و تغییرپذیری شدید در قرن ۲۱ در حال افزایش است و روند گرم شدن کره زمین ادامه دارد. سکوئرا و همکاران[3](۲۰۱۱)، در پژوهشی اثر تغییرات اقلیم بر مصرف انرژی گرمایش و سرمایش در نوار ساحلی اقیانوس اطلس شمالی مورد واکاوی قراردادند. جنسا و همکاران[4](۲۰۱۳)، در بررسی ارتباط شاخص گرما و مرگ‌ومیر شهر تایوان به این نتیجه رسیدند که نسبت مرگ‌ومیر با افزایش شاخص روزانه میانگین درجه حرارت ارتباط معناداری دارد. وولف و مک‌گریگور[5](۲۰۱۳)، با استفاده از شاخص آسیب‌پذیری توسعه موج گرما برای لندن نشان دادند که رابطه معناداری در رخداد امواج گرمایی وجود دارد و مناطق مرکزی و شرقی لندن از آسیب‌پذیری بالاتری در راستای رخداد امواج گرما برخوردارند. الیزابت و فدریکو[6](۲۰۱۳)، با تحلیل روند درجه روز گرمایش در کشور آرژانتین بر این باورند که در مناطق ساحلی روند منفی نیاز گرمایش محیط می‌تواند به دلیل اثر رطوبت دریا بر این مناطق باشد. تواردوژ و کوزوفسکا[7](۲۰۱۳)، با بررسی تابستان‌های بسیار داغ در مرکز و شرق اروپا نشان دادند که فراوانی روزهای گرم رو به افزایش است و رخداد امواج گرمایی به مناطق خاصی محدود نبوده و

1 Fricko et al
2 Auroop et al
3 Sequera et al
4 Jen Su et al
5 Wolf and McGregor
6 Elizabeth and Federico
7 Twardosz and Kossowska

امکان رخداد آن در همه مکان‌ها وجود دارد. روزا و همکاران[1](۲۰۱٤)، روند درجه روزهای گرمایش و سرمایش را در ایتالیا بررسی کردند و معتقدند روند میزان مصرف انرژی سرمایش روندی افزایشی است. پوسات و اکمسی[2](۲۰۱۵)، در پژوهشی بر حسب درجه روزهای گرمایش و سرمایش، ترکیه را به چهار ناحیه بسیار سرد، سرد، نیمه سرد و معتدل پهنه‌بندی کردند. بیشترین نیاز گرمایش در ناحیه بسیار سرد در ماه ژانویه نمایان شد. کوکس و همکاران[3](۲۰۱۵)، نشان دادند که میانگین روزلنه دما در نواحی مدیترلنه، روند افزایشی به میزان ۱ تا ۲ درجه سانتی‌گراد دارد که بر انرژی مصرفی سرمایش اماکن اثر بسزایی داراست. آتیلگان و همکاران[4](۲۰۱٦)، بر این باورند که درجه‌روز، هم نیاز مقدار انرژی یک ساختمان را بیان می‌کند و هم ارتباط بین دمای داخلی ساختمان با دمای هوای بیرونی که در آن ساختمان واقع شده است را مطرح می‌کند. زامپیری و همکاران[5](۲۰۱٦)، در ارزیابی و برآورد جهانی بزرگی امواج گرما و پیامدهای آن روی آبدهی رودخانه‌ها در رشته‌کوه‌های آلپ، دریافتند که در دهه‌های اخیر، درصد مساحت جهانی تحت پوشش امواج گرمایی نسبت به اوایل قرن بیستم تقریباً سه برابر شده است. الیزباراشویلی و همکاران[6](۲۰۱۸)، تغییرات و روند درجه‌روزهای گرمایشی و سرمایشی در گرجستان را موردبررسی قرار دادند و نیازهای درجه روز گرمایشی و سرمایشی را در هر ایستگاه مشخص نمودند.

در ایران نیز؛ قویدل‌رحیمی (۱۳۹۰)، معتقد است که وجود یک کم‌فشار حرارتی روی شبه‌جزیره عربستان و اثرات ناشی از سوق یافتن، فعالیت و مهاجرت کم‌فشار مذکور به سمت ایران به همراه تسلط پرفشار جنب‌حاره‌ای در ترازهای میانی جو، عامل اصلی گرمایش در تابستان ۱۳۸۹ ایران است. اسمعیل‌نژاد و همکاران (۱۳۹۲)، با شناسایی امواج گرمایی ایران بر این باورند که در این کشور موج‌های گرمایی کوتاه، رخداد و بسامد بیشتری دارند و تعداد امواج گرمایی پرتداوم، کمتر بوده است. دارند(۱۳۹۳)، با شناسایی و تحلیل زمانی- مکانی امواج گرمایی ایران نشان داد که بسامد رخداد امواج گرمایی و ماندگاری و شدت آن در ایران رو به افزایش است و در دشت کویر این نرخ، سرعت بیشتری دارد. جهانبخش و همکاران (۱۳۹٤) بر این باورند که الگوی غالب در زمان رخداد امواج گرمایی شمال‌غرب ایران؛ پرفشار جنب‌حاره‌ای، کم‌فشار عربستان و کم‌فشار پاکستان هستند. اعتمادیان و دوستان (۱۳۹٦)، در تحلیل فضایی امواج گرمایی ایران به این نتیجه رسیدند که بیشترین امواج گرمایی ایران در نیمه غربی رخ می‌دهد و به سمت شرق کاهش می‌یابد؛ به‌نحوی‌که از منطقه کوهپایه داخلی ایران به سمت شمال و جنوب کشور و مناطق مرکزی، این پدیده اقلیمی سیر کاهشی دارد. بهاروندی و همکاران (۱۳۹۹)، معتقدند که بیشترین تعداد امواج گرمایی،

---

1 Rosa et al
2 Pusat and Ekmekci
3 Cox et al
4 Atilgan et al
5 Zampieri et al
6 Elizbarashvili

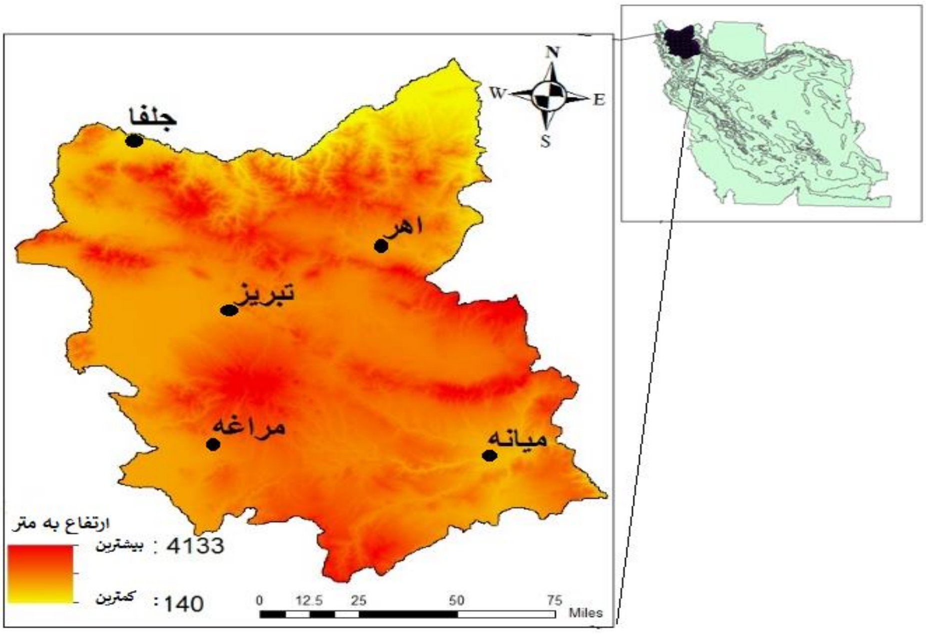
در غرب رشـــته‌کوه زاگرس و ســـپس دشـــت کویر رخ می‌دهد. درحالی‌که بیشـــینه بزرگی امواج، متعلق به مناطق جنوب‌شرقی و مرکزی کشور است.

ازآنجاکه کشـــور ایران در منطقه جغرافیایی ویژه‌ای قرار دارد لذا به‌تبع آن، از اقلیم حســـاس و شـــکننده‌تری نیز برخوردار است. به‌طوری‌که؛ تداوم گسترش امواج گرمایی، بیلان منفی آب و خشکسالی‌های اخیر را شدت بخشیده اســت و پیامدهای ناگواری را در مناطق شــمال‌غرب ایران به‌ویژه اســتان آذربایجان شــرقی به وجود آورده اســت. لذا هدف نهایی این پژوهش، ارزیابی توانمندی مدل‌های اقلیمی و سناریوهای جدید گزارش ششم تغییر اقلیم در بررسی اثرات این رخداد اقلیمی بر امواج گرمایی این استان می‌باشد.

۲- مواد و روش

منطقه موردبررسی، استان آذربایجان‌شرقی است. این استان بزرگ‌ترین و پرجمعیت‌ترین استان ناحیه شمال‌غربی ایران محسـوب می‌شـود و کانون فعالیت‌های کشـاورزی در این منطقه به شـمار می‌آید. همچنین این اسـتان از سـمت شـمال به جمهوری‌های آذربایجان، ارمنسـتان و نخجوان، از سـمت غرب و جنوب‌غرب به اسـتان آذربایجان‌غربی، از سـمت شـرق به اسـتان اردبیل و از سـمت جنوب‌شـرق به اسـتان زنجان محدود شـده اسـت. اسـتان آذربایجان‌شـرقی با ۴۵٬۴۸۱ کیلومترمربع مساحت، حدود ۲/۸ درصد از وسعت کل ایران را به خود اختصاص داده است و بین مدارهای ۳۶ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۳۹ درجه و ۲۶ دقیقه عرض‌شـمالی و نصـف‌النهارهای ۴۵ درجه و ۵ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۲۲ دقیقه طول شرقی جای گرفته است (شکل ۳).

در پژوهش حاضر از دو دسته داده استفاده شده است. دسته اول؛ شامل داده‌های روزانه دمای بیشینه در ۵ ایستگاه همدید استان آذربایجان شرقی شامل تبریز، مراغه، جلفا، اهر و میانه برای بازه‌ی زمانی ۱۹۸۱ تا ۲۰۲۱ میلادی (دست کم ۴۰ ســاله) جهت واکاوی تغییرات مکانی امواج گرمایی هســتند. این داده‌ها به‌عنوان داده‌های پایه- مبنا (داده‌های تاریخی) مورد ارزیابی و مدل‌سـازی قرار گرفته‌اند و از سـازمان هواشـناسـی کشـور برداشـت شـده‌اند. موقعیت مکانی ایستگاه‌های مورد بررسی در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۳- موقعیت جغرافیایی و مکانی ایستگاه‌های مورد بررسی

دسته دوم؛ شامل داده‌های سناریوهای اقلیمی از مدل‌های آب‌وهوای جهانی گزارش ششم اقلیمی (CMIP6) هستند که از سال ۲۰۲۲ به‌صورت آزاد از طریق تارنمای https://climate-scenarios.canada.ca در دسترس عموم پژوهشگران قرار گرفته است. در پژوهش حاضر، این داده‌ها از سال ۲۰۲۲ تا ۲۰٦۵ میلادی به‌عنوان داده‌های دوره پیش‌بینی و مدل‌سازی مورد ارزیابی قرار گرفته است. خلاصه‌ای از ویژگی آماری داده‌های گزارش ششم اقلیمی در جدول ۱ نمایش داده شده است.

جدول ۱- ویژگی آماری داده‌های گزارش ششم تغییر اقلیمی

(منبع: https://esgf-node.llnl.gov/search/cmip6)

نوع داده‌ها	شبکه‌ای ۱×۱ درجه قوسی
طرح‌ریزی	شبکه طول و عرض جغرافیایی منظم
پوشش افقی	بین مدل‌ها متفاوت است.
پوشش عمودی	سطوح تکی، سطوح فشار (۱ تا ۱۰۰۰ هکتوپاسکالی)
پوشش زمانی	۱۸۵۰-۲۳۰۰ (کوتاه‌تر برای برخی از سناریوها)
وضوح زمانی	ماهانه، روزانه، ثابت (بدون وضوح زمانی)
فرمت فایل	NetCDF4
کنوانسیون‌ها	آب‌وهوا و پیش‌بینی (CF)
نسخه‌ها	آخرین نسخه از داده‌ها سال ۲۰۲۲ ارائه‌شده است.

همچنین در این پژوهش، از مدل منتخب CanESM[1] تحت سناریوی دوگانه اقتصادی–اجتماعی SSP1[2]؛ توسعه یافته توسط مرکز محیط‌زیست کانادا برای مدل‌سازی و واکاوی امواج گرمایی استفاده شده است. در این سناریو، جهان به‌تدریج اما به‌صورت فراگیر به سمت یک مسیر پایدار حرکت می‌کند. همچنین در این مدل، مدیریت جوامع جهانی به‌آرامی بهبود می‌یابد. سرمایه‌گذاری‌های آموزشی و بهداشتی، رشد جمعیتی را تسریع می‌کند و تأکید بر تغییرات اقتصادی جهت بهبود زندگی انسان است. (فریکو و همکاران، ۲۰۱۶).

همچنین برای درست‌سنجی برونداد امواج گرمایی مدل منتخب CanESM در ۵ ایستگاه همدید استان آذربایجان شرقی، از سنجه‌های ضریب همبستگی پیرسون (r)، میانگین مربعات انحرافات (MSD)، میانگین قدرمطلق انحراف‌ها (MAD) و میانگین درصد مطلق خطاها ($MAPE$) استفاده شد (رابطه‌های ۱ تا ٤).

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{n}(F_i - \bar{F})(A_i - \bar{A})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(F_i - \bar{F})^2}\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(A_i - \bar{A})^2}}$$ رابطه ۱

$$MSD = \frac{\sum_{i=1}^{n}(F_i - A_i)^2}{n}$$ رابطه ۲

$$MAD = \text{Meadian}(|F_i - \bar{F}|)$$ رابطه ۳

$$MAPE = \frac{100\%}{n}\sum_{i=1}^{n}\left|\frac{A_i - F_i}{A_i}\right|$$ رابطه ٤

در این رابطه‌ها؛ F_i و A_i به ترتیب iامین داده شبیه‌سازی شده (ه)[3] توسط مدل منتخب و داده واقعی (خی)[4]، $\bar{F}$ و $\bar{A}$ به ترتیب میانگین کل داده‌های F_i و A_i در جامعه آماری، n تعداد کل داده‌های مورد واکاوی، SD انحراف معیار و $Meadian$ میانه است.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- درست‌سنجی آماره‌های امواج گرمایی استان آذربایجان شرقی در دوره پایه با دروه پیش‌بینی مدل

همان‌گونه که جدول ۲ نشان می‌دهد نتایج درست‌سنجی برونداد امواج گرمایی بر اساس داده‌های واقعی و داده‌های مدل منتخب حاکی از این است که توافق داده‌ها در دوره پایه و دوره مدل‌سازی‌شده بالاست و میزان خطای

1 Canadian Earth System Model (CanESM)
2 Shared Socioeconomic Pathways (SSP1)
3 Forecast Value
4 Actual Value

این دو سری داده اندک است. بنابراین کارایی و دقت مدل CanESM در مدل‌سازی داده‌های تاریخی مورد تأیید قرار می‌گیرد.

جدول ۲- درست‌سنجی امواج گرمایی دوره پایه (تاریخی) و دوره آینده (مدل)

ایستگاه	دوره/مدل	ماه	سنجه‌ها			
			R- (P value)	MSD	MAD	MAPE
تبریز	دوره پایه	ژوئن	۰/۳۷۱	۰/۰۰	۰/۰۵	۰/۱۵۹
		جولای	۰/۰۰۱	۰/۰۹	۰/۲۶۸	۰/۷۳۱
		آگوست	۰/۲۷۹	۰/۰۱	۰/۰۹	۰/۲۶۸
		سالانه	۰/۰۰۸	۰/۰۳۱	۰/۱۵۷	۰/۴۳۰
	مدل CanESM	ژوئن	۰/۵۱۹	۰/۰۰۲	۰/۰۴۳	۰/۱۱۵
		جولای	۰/۷۳۰	۰/۲۹۸	۰/۴۳۴	۱/۱۷۹
		آگوست	۰/۰۰	۰/۰۰۷	۰/۰۷	۰/۲۱۴
		سالانه	۰/۵۳۹	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۷
مراغه	دوره پایه	ژوئن	۰/۱۶۱	۰/۰۰	۰/۰۷	۰/۲۲۰
		جولای	۰/۰۰	۰/۱۶۳	۰/۳۵۳	۰/۹۶۳
		آگوست	۰/۰۸۵	۰/۱۱۶	۰/۲۴۸	۰/۶۸۴
		سالانه	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۱۲	۰/۱۹۶
	مدل CanESM	ژوئن	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۵
		جولای	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
		آگوست	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۶۹	۰/۱۸۱
		سالانه	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۸۵	۰/۱۹۶
جلفا	دوره پایه	ژوئن	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۶	۰/۱۸۱
		جولای	۰/۰۰	۰/۱۶۱	۰/۳۵۶	۰/۹۴۷
		آگوست	۰/۰۰	۰/۰۴۳	۰/۱۶۶	۰/۴۴۲
		سالانه	۰/۰۰۲	۰/۰۷۱	۰/۰۲	۰/۱۶۷
	مدل CanESM	ژوئن	۰/۰۰	۰/۰۰۲	۰/۰۴	۰/۱۱۳
		جولای	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۷
		آگوست	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۷۶	۰/۲۱۴
		سالانه	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۶
اهر	دوره پایه	ژوئن	۰/۳۰	۰/۷۶۷	۰/۷۵۳	۲/۰۴۴
		جولای	۰/۰۷	۰/۱۱۸	۰/۲۹۹	۰/۸۱۹
		آگوست	۰/۵۱	۰/۰۰	۰/۰۶	۰/۱۷۳
		سالانه	۰/۱۵۹	۰/۰۲۶	۰/۱۴۳	۰/۳۶۹

ایستگاه	دوره/مدل	ماه	سنجه‌ها			
			R- (P value)	MSD	MAD	MAPE
	مدل CanESM	ژوئن	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۵	۰/۱۳۸
		جولای	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۵
		آگوست	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۶	۰/۱۸۷
		سالانه	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۶۲
میانه	دوره پایه	ژوئن	۰/۱۶۱	۰/۰۴	۰/۱۸۰	۰/۴۹۱
		جولای	۰/۰۰	۰/۱۲۷	۰/۳۱۶	۰/۸۳۹
		آگوست	۰/۰۸۵	۰/۱۲۷	۰/۳۰۷	۰/۸۱۵
		سالانه	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۳۲۰	۰/۴۲۱
	مدل CanESM	ژوئن	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۲۲	۰.۰۵
		جولای	۰/۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۵	۰/۰۱
		آگوست	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۵۷	۰/۱۴۷
		سالانه	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۸۳	۰/۱۹۶

۳-۲- واکاوی پراکنش امواج گرمایی استان آذربایجان شرقی در دوره پایه با دروه پیش‌بینی

در این پژوهش جهت پهنه‌بندی مکانی امواج گرمایی در دوره پایه و دوره پیش‌بینی، از تکنیک رگرسیونی گام به گام استفاده شده است. ملاحظه می‌شود که همبستگی نسبتاً بالایی بین امواج گرمایی استان آذربایجان شرقی و ارتفاع مشاهده می‌شود و این تکنیک به خوبی توانسته است امواج گرمایی را تبیین کند (جدول۳).

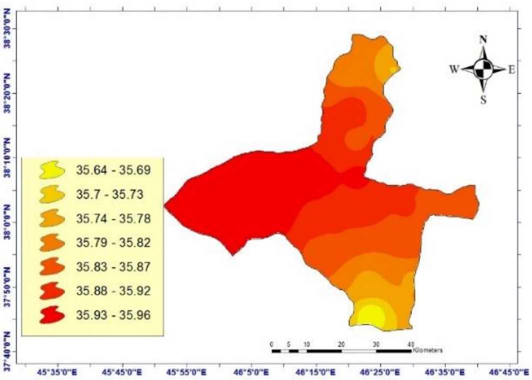
جدول ۳- مدل‌سازی رگرسیونی گام به گام پراکنش مکانی امواج گرمایی دوره پایه (تاریخی) و دوره آینده (مدل)

ایستگاه	ماه	دوره پایه (۲۰۲۱-۱۹۸۱)	دوره مدل‌سازی (۲۰۶۵-۲۰۲۲)
تبریز	ژوئن	36.113 - 0.000183 h	37.704 + 0.000246 h
	جولای	36.072 + 0.000237 h	36.873 - 0.000044 h
	آگوست	36.738 - 0.000133 h	35.728 + 0.00037 h
	سالانه	37.185- 0.000366 h	37.918 - 0.000203 h
مراغه	ژوئن	35.338 + 0.00088 h	45.935 - 0.000523 h
	جولای	35.623 + 0.000932 h	42.909 - 0.000101 h
	آگوست	37.229 - 0.000605 h	38.959 - 0.000315 h
	سالانه	35.189 + 0.001654 h	42.980 - 0.000267 h
جلفا	ژوئن	36.412 + 0.000452 h	37.958 - 0.000038 h
	جولای	39.054 - 0.001249 h	37.520 - 0.000513 h

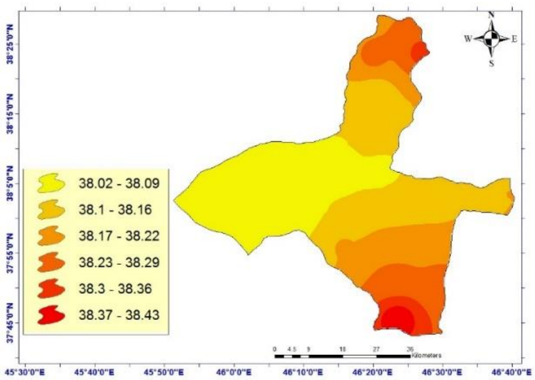
ایستگاه	ماه	دوره پایه (۲۰۲۱-۱۹۸۱)	دوره مدل‌سازی (۲۰٦۵-۲۰۲۲)
	آگوست	39.004 - 0.001042 h	37.782 - 0.000176 h
	سالانه	38.553 - 0.000918 h	37.816 - 0.000154 h
اهر	ژوئن	38.01 - 0.000124 h	38.277 - 0.000224 h
	جولای	37.07 - 0.000267 h	37.269 - 0.000221 h
	آگوست	36.031 - 0.000017 h	36.393 - 0.000255 h
	سالانه	37.276 - 0.000604 h	37.100 + 0.000479 h
میانه	ژوئن	36.622 - 0.000018 h	45.301 - 0.000194 h
	جولای	38.247 - 0.000505 h	43.426 - 0.000393 h
	آگوست	35.992 + 0.001000 h	39.118 - 0.000235 h
	سالانه	36.923 + 0.000256 h	43.029 - 0.000307 h

۳-۳- پراکنش مکانی امواج گرمایی تبریز در دوره پایه و دوره پیش‌بینی

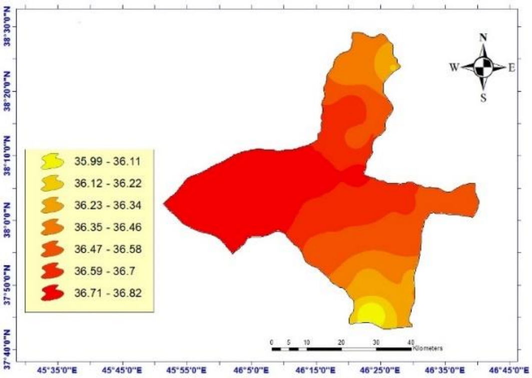
بررسی برونداد شدت امواج گرمایی مدل منتخب CanESM تبریز نشان داد که تا سال ۲۰٦۵ میلادی، کمینه شدت امواج گرمایی، ۱/۳ درجه سانتی‌گراد و بیشینه امواج گرمایی با ۰/۵ درجه افزایش خواهد یافت؛ بنابراین مشاهده می‌شود که در ایستگاه تبریز طی نیم‌سده آینده، شدت امواج گرمایی بین ۰/۵ تا ۱/۳ درجه افزایش پیدا خواهد کرد. مناطق کمینه شدت امواج گرمایی عموماً بر بخش‌های مرکزی و شرقی آن در همجواری با دریاچه ارومیه منطبق هستند و بیشترین شدت امواج گرمایی هم در مناطق شمال و جنوب ایستگاه استیلا دارد (شکل ٤ تا ۱۱). به نظر می‌رسد در این ایستگاه طی سال‌های آتی، کانون بیشینه شدیدترین امواج گرمایی از مناطق مرکزی و شرقی به مناطق شمالی و جنوبی تغییر مکان دهد. همچنین بسامد رخداد امواج گرمایی با دمای بالاتر طی سال‌های آینده، بیشتر، ماندگارتر و ماناتر خواهد شد که این روند با تغییرات جهانی اقلیم ارتباط مستقیم و معناداری دارد.



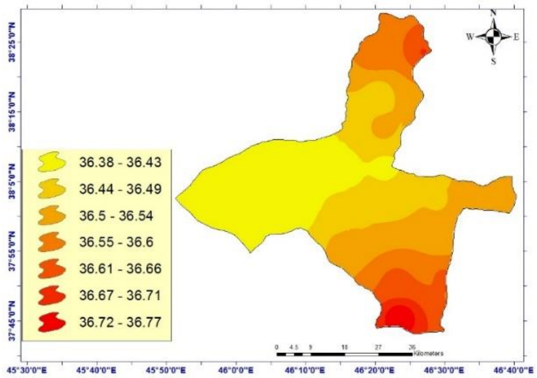
شکل ٤- پراکنش مکانی امواج گرمایی ژوئن در تبریز (دوره پایه)



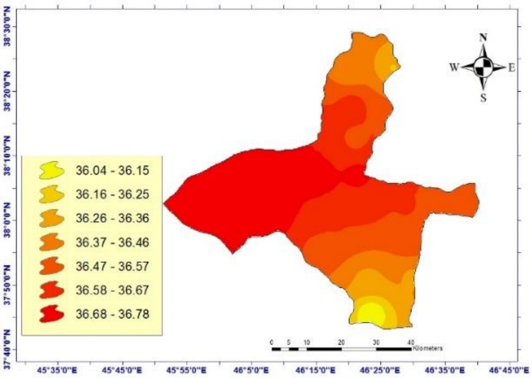
شکل ٥- پراکنش مکانی امواج گرمایی ژوئن در تبریز (دوره پیش‌بینی)



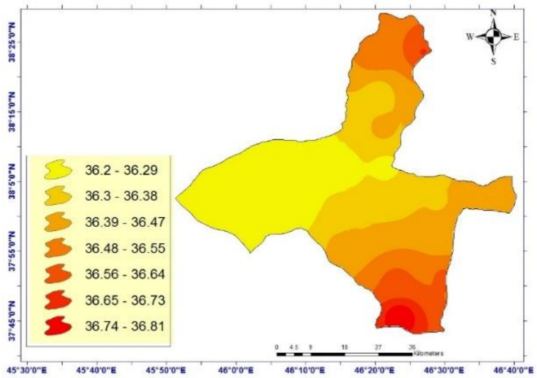
شکل ٦- پراکنش مکانی امواج گرمایی جولای در تبریز (دوره پایه)



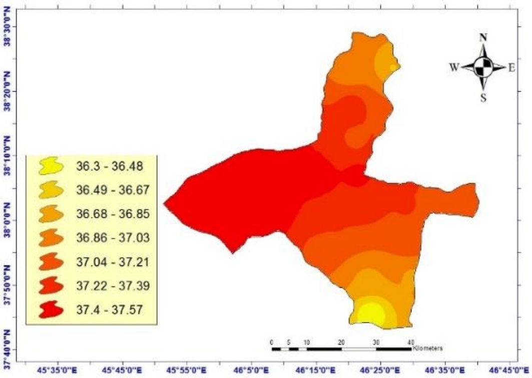
شکل ۷- پراکنش مکانی امواج گرمایی جولای در تبریز (دوره پیش‌بینی)



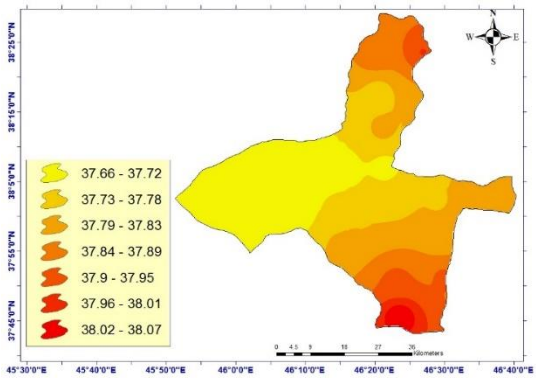
شکل ۸- پراکنش مکانی امواج گرمایی آگوست در تبریز (دوره پایه)



شکل ۹-پراکنش مکانی امواج گرمایی آگوست در تبریز (دوره پیش‌بینی)



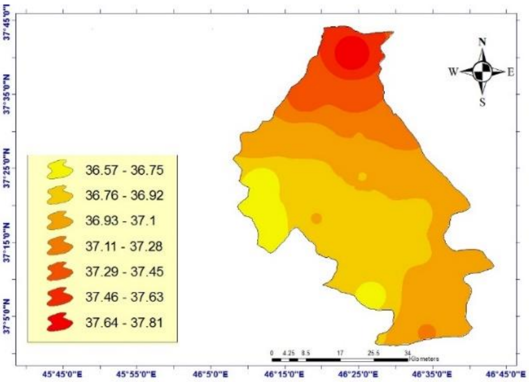
شکل ۱۰- پراکنش مکانی امواج گرمایی سالانه در تبریز (دوره پایه)



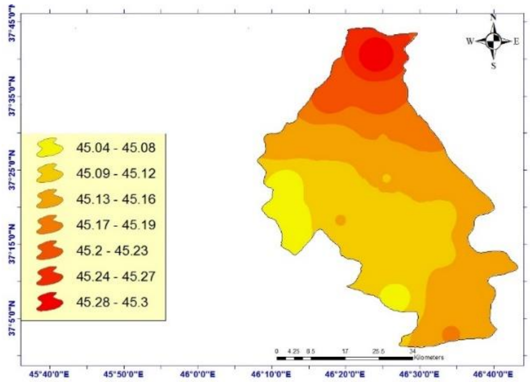
شکل ۱۱- پراکنش مکانی امواج گرمایی سالانه در تبریز (دوره پیش‌بینی)

۳-٤- پراکنش مکانی امواج گرمایی مراغه در دوره پایه و دوره پیش‌بینی

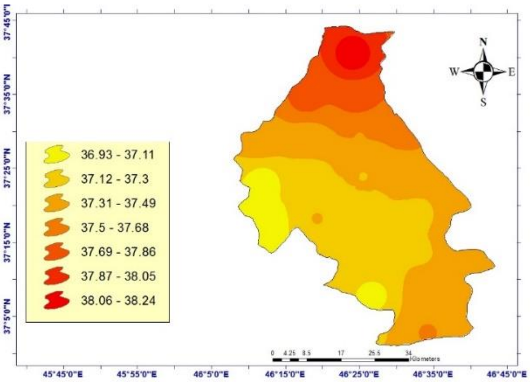
پهنه‌بندی مکانی شدت امواج گرمایی در مراغه نشان می‌دهد که کانون بیشینه شدت امواج گرمایی در این ایستگاه در بخش‌های شمالی و جنوبی مستقر شده است و امواج گرمایی گستره بزرگی از این ایستگاه را در برگرفته‌اند. شواهد نشان می‌دهد که با کاهش عرض جغرافیایی و نزدیک شدن به سرزمین‌های کم‌ارتفاع و پست در بخش‌های جنوبی این ایستگاه، شدت امواج گرمایی نیز بیشتر شده است. از سویی دیگر، میانگین شدت امواج گرمایی در زمان رخداد بیشترین و کمترین فراوانی آن، حاکی از وجود تفاوت معنی‌دار ۱ درجه‌ای است که نشان‌دهنده افزایش بسامد و رخداد امواج گرمایی کم‌شدت با قابلیت ماندگاری، ماندایی و تداوم این پدیده نه تنها این ایستگاه، بلکه در تمام استان آذربایجان شرقی می‌باشد (شکل ۱۲ تا ۱۹).



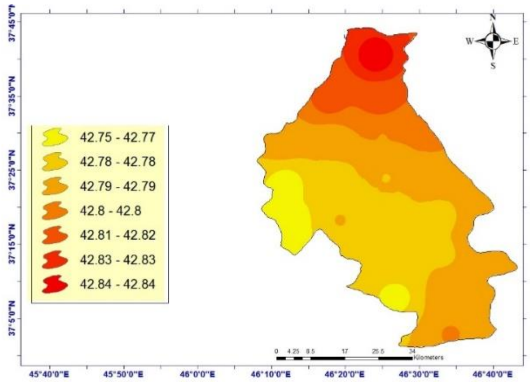
شکل ۱۲- پراکنش مکانی امواج گرمایی ژوئن در مراغه (دوره پایه)



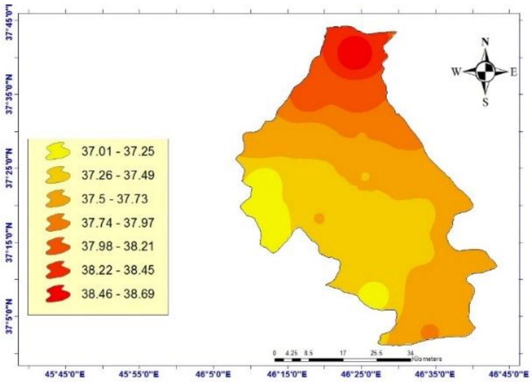
شکل ۱۳- پراکنش مکانی امواج گرمایی ژوئن در مراغه (دوره پیش‌بینی)



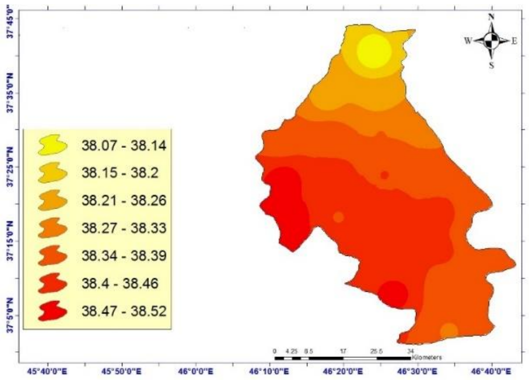
شکل ١٤- پراکنش مکانی امواج گرمایی جولای در مراغه (دوره پایه)



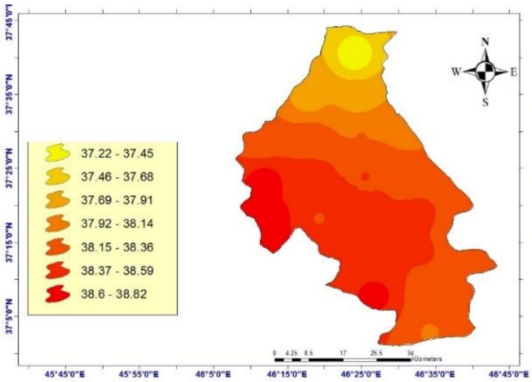
شکل ۱۵- پراکنش مکانی امواج گرمایی جولای در مراغه (دوره پیش‌بینی)



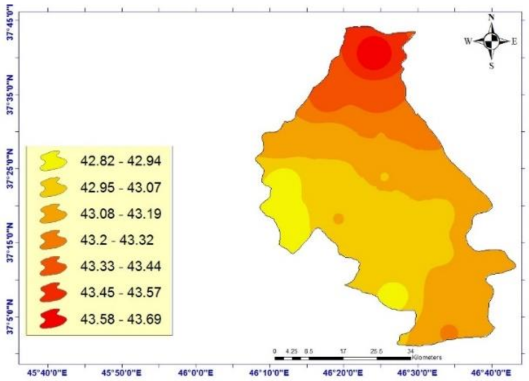
شکل ۱۶- پراکنش مکانی امواج گرمایی آگوست در مراغه (دوره پایه)



شکل ۱۷- پراکنش مکانی امواج گرمایی آگوست در مراغه (دوره پیش‌بینی)



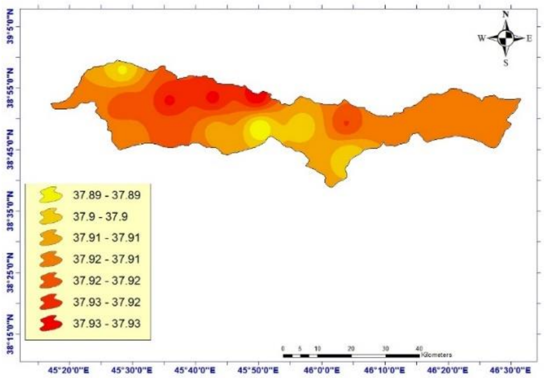
شکل ۱۸- پراکنش مکانی امواج گرمایی سالانه در مراغه (دوره پایه)



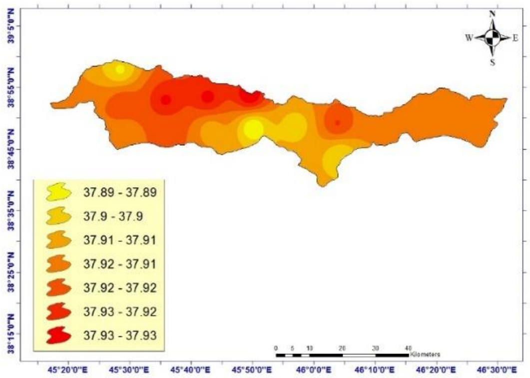
شکل ۱۹- پراکنش مکانی امواج گرمایی سالانه در مراغه (دوره پیش‌بینی)

۳-۵-پراکنش مکانی امواج گرمایی جلفا در دوره پایه و دوره پیش‌بینی

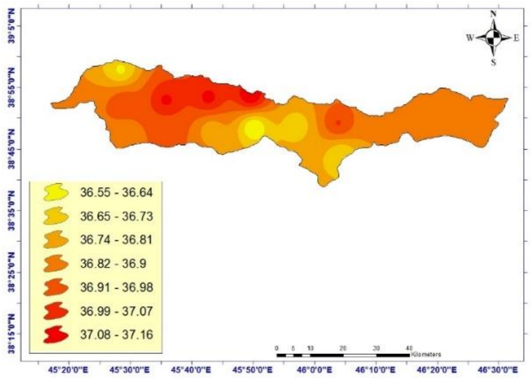
نتایج حاصل از پراکنش مکانی شدت امواج گرمایی در جلفا نشان می‌دهد که در بخش‌های غربی این ایستگاه، بیشینه و کانون امواج گرمایی هم در دوره تاریخی و هم دوره پیش‌بینی شده مستقر شده است. به نظر می‌رسد افزایش عرض جغرافیایی این ایستگاه باعث شده است که شدت امواج گرمایی نسبت به دیگر ایستگاه‌های مورد بررسی رقم کمتری باشد و در زمان کمینه و بیشینه دما به ترتیب ۰/۷ و ۰/۵ درجه سانتی‌گراد باشد. به عبارتی در این ایستگاه، شدت امواج گرمایی در بالاترین زمان اوج، ۰/۵ درجه و در کمترین مقدار، ۰/۷ درجه سانتی‌گراد افزایش پیدا خواهد کرد. این بدان معناست که در سال‌های آتی، شدت امواج گرمایی در این ایستگاه به‌ویژه در بخش‌های غربی آن بیشتر خواهد شد (شکل ۲۰ تا ۲۷).



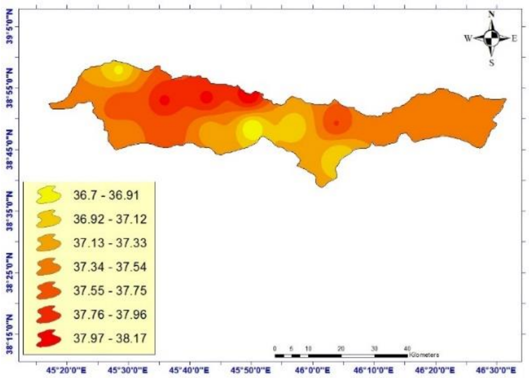
شکل ۲۰- پراکنش مکانی امواج گرمایی ژوئن
در جلفا (دوره پایه)



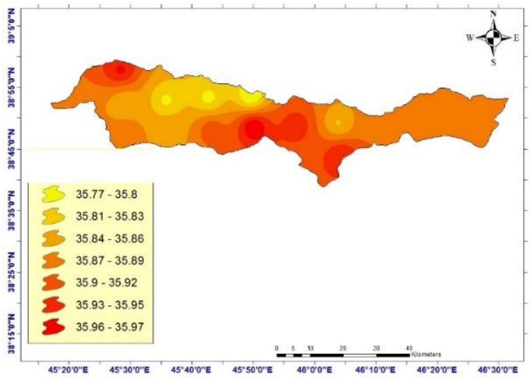
شکل ۲۱- پراکنش مکانی امواج گرمایی ژوئن
در جلفا (دوره پیش‌بینی)



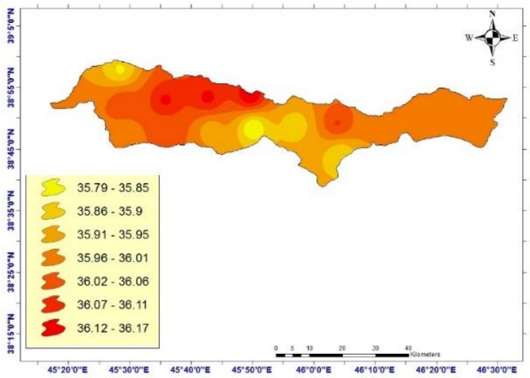
شکل ۲۲- پراکنش مکانی امواج گرمایی جولای
در جلفا (دوره پایه)



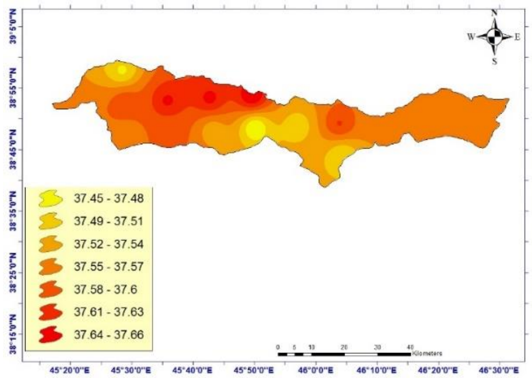
شکل ۲۳- پراکنش مکانی امواج گرمایی جولای
در جلفا (دوره پیش‌بینی)



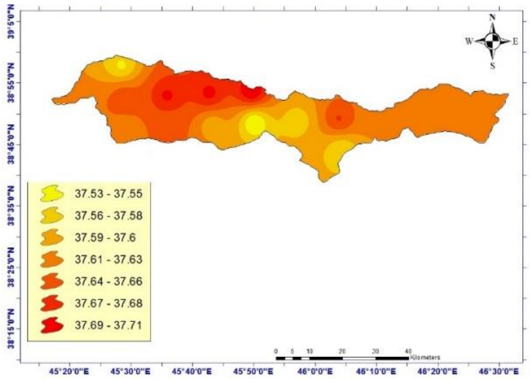
شکل ۲٤- پراکنش مکانی امواج گرمایی آگوست
در جلفا (دوره پایه)



۲۵-پراکنش مکانی امواج گرمایی آگوست
در جلفا (دوره پیش‌بینی)



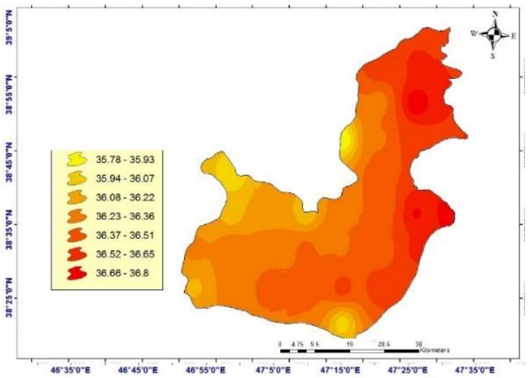
شکل ۲۶- پراکنش مکانی امواج گرمایی سالانه در جلفا (دوره پایه)



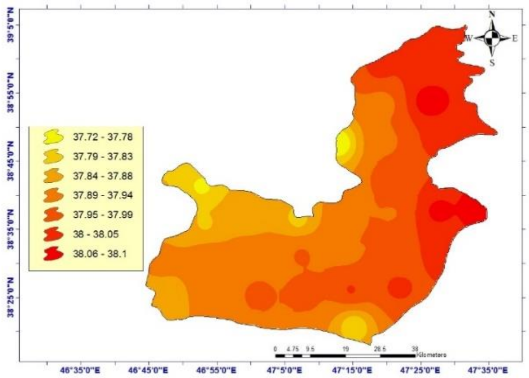
شکل ۲۷- پراکنش مکانی امواج گرمایی سالانه در جلفا (دوره پیش‌بینی)

۳-۶- پراکنش مکانی امواج گرمایی اهر در دوره پایه و دوره پیش‌بینی

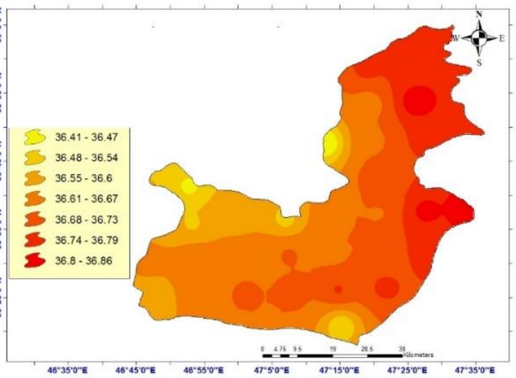
بررسی پراکنش مکانی شدت امواج گرمایی در اهر حاکی از این است که بخش‌های شرقی این استان در همسایگی با دریای خزر، شدیدترین گستره امواج گرمایی را به خود اختصاص داده است و بیشترین میزان آن، با ۱/۵ درجه سانتی‌گراد و کمترین مقدار آن به ۱/۷ درجه خواهد رسید (شکل ۲۸ تا ۳۵).



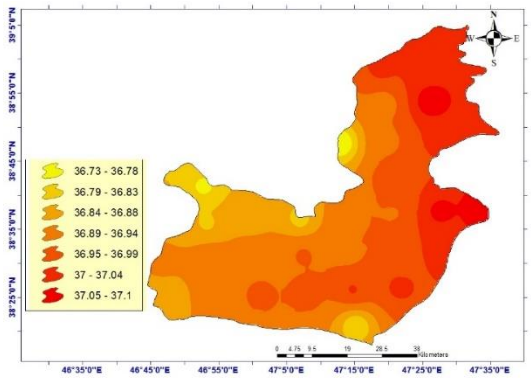
شکل ۲۸- پراکنش مکانی امواج گرمایی ژوئن در جلفا (دوره پایه)



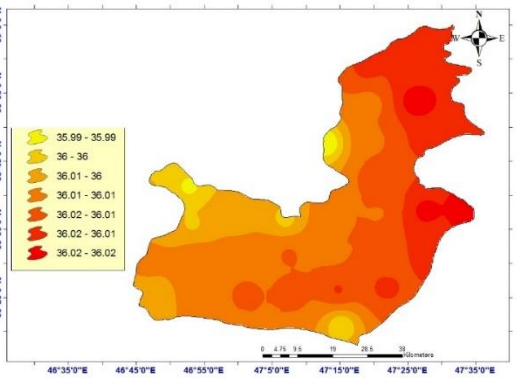
شکل ۲۹- پراکنش مکانی امواج گرمایی ژوئن در جلفا (دوره پیش‌بینی)



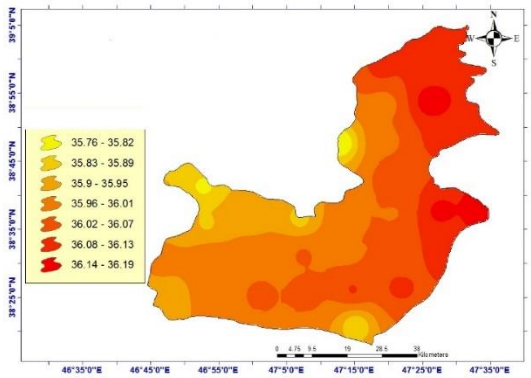
شکل ۳۰- پراکنش مکانی امواج گرمایی جولای در جلفا (دوره پایه)



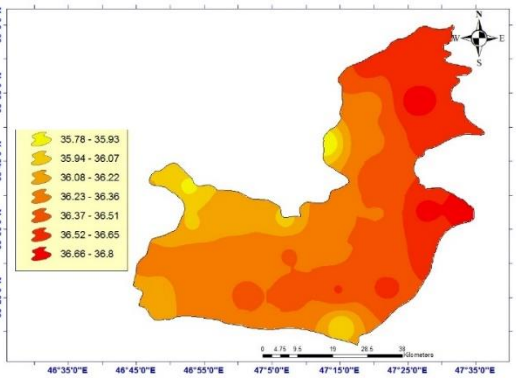
شکل ۳۱- پراکنش مکانی امواج گرمایی جولای در جلفا (دوره پیش‌بینی)



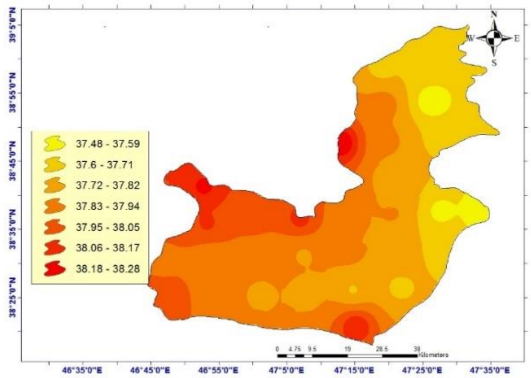
شکل ۳۲- پراکنش مکانی امواج گرمایی آگوست در جلفا (دوره پایه)



شکل ۳۳- پراکنش مکانی امواج گرمایی آگوست در جلفا (دوره پیش‌بینی)



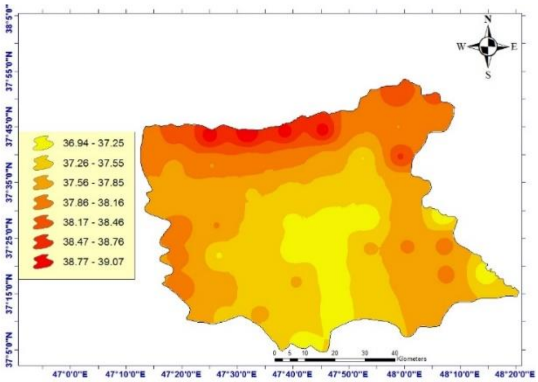
شکل ۳٤- پراکنش مکانی امواج گرمایی سالانه در جلفا (دوره پایه)



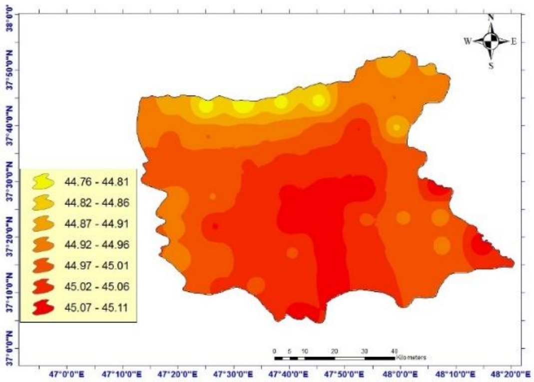
شکل ۳۵- پراکنش مکانی امواج گرمایی سالانه در جلفا (دوره پیش‌بینی)

۳-۷- پراکنش مکانی امواج گرمایی میانه در دوره پایه و دوره پیش‌بینی

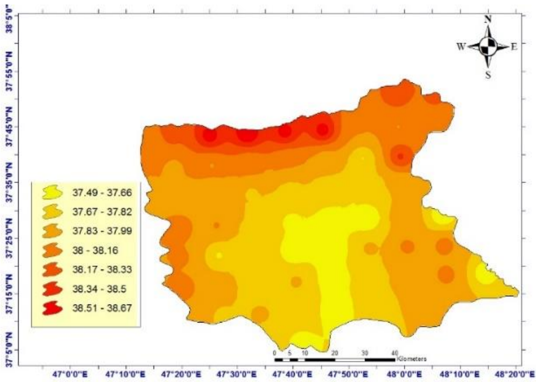
همان‌طور که شکل‌های ۳٦ تا ٤۳ نشان می‌دهد در دوره پایه (سال ۱۹۸۱ تا ۲۰۲۱)، بیشینه رخداد شدیدترین امواج گرمایی در بخش‌های شمالی ایستگاه میانه مشاهده می‌شود اما در دوره پیش‌بینی (سال ۲۰۲۲ تا ۲۰٦٥)، کانون شدیدترین امواج گرمایی به بخش‌های مرکزی و جنوبی ایستگاه منتقل شده است که نشان از کاهش عرض جغرافیایی و وسعت مناطق پست و کم‌ارتفاع می‌دهد. بالاترین شدت امواج گرمایی با رقم ۳ درجه و کمترین شدت برابر با ٤/٤ درجه سانتی‌گراد است (اختلاف ۱ درجه‌ای). به نظر می‌رسد در سرتاسر این استان به تبع افزایش دما در بخش‌های جنوبی آن و گسترش زمین‌های کم ارتفاع از یک سو و افزایش گرمایش جهانی و اثرگذاری زیاد آن بر اقلیم کره زمین از سویی دیگر، سبب رخداد و تشدید این‌گونه جابجایی‌های جغرافیایی شده باشد.



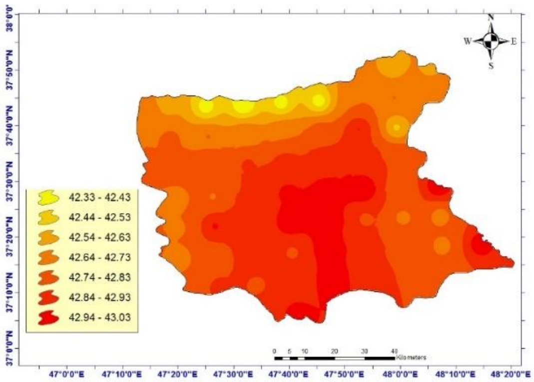
شکل ۳٦- پراکنش مکانی امواج گرمایی ژوئن در جلفا (دوره پایه)



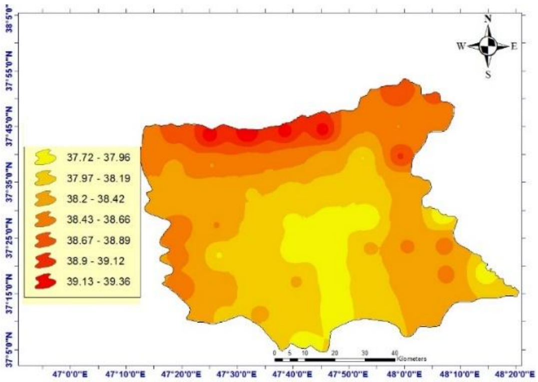
شکل ۳۷- پراکنش مکانی امواج گرمایی ژوئن در جلفا (دوره پیش‌بینی)



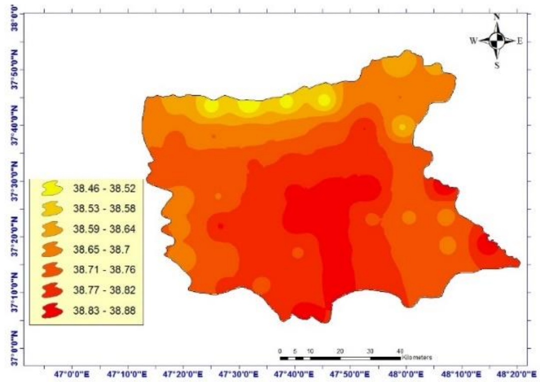
شکل ۳۸- پراکنش مکانی امواج گرمایی جولای در جلفا (دوره پایه)



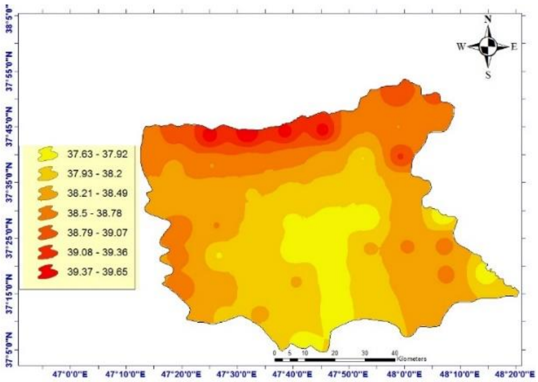
شکل ۳۹- پراکنش مکانی امواج گرمایی جولای در جلفا (دوره پیش‌بینی)



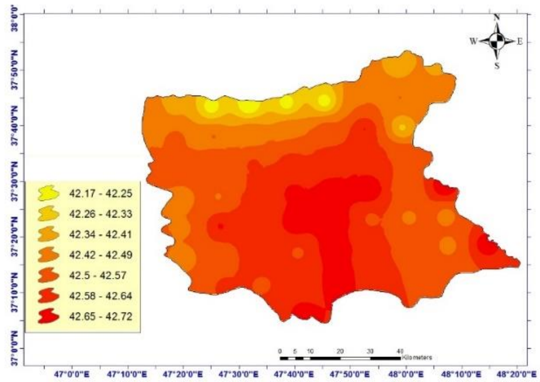
شکل ٤٠- پراکنش مکانی امواج گرمایی آگوست در جلفا (دوره پایه)



شکل ٤١- پراکنش مکانی امواج گرمایی آگوست در جلفا (دوره پیش‌بینی)



شکل ٤٢- پراکنش مکانی امواج گرمایی سالانه در جلفا (دوره پایه)



شکل ٤٣- پراکنش مکانی امواج گرمایی سالانه در جلفا (دوره پیش‌بینی)

٤- جمع‌بندی

واکاوی و شناخت پراکنش شدت امواج گرمایی، امکان برنامه‌ریزی جهت سازگاری یا تطابق با این پدیده فرین اقلیمی را در بخش‌های کشاورزی و صنعتی فراهم می‌کند. نتایج حاکی از پژوهش حاضر نشان داد که در تمام ایستگاه‌های مورد بررسی، شدت امواج گرمایی تا سال ۲۰٦٥ میلادی نسبت به دوره پایه (سال‌های ۱۹۸۱ تا ۲۰۲۱)، افزایش قابل‌توجهی خواهد یافت. به‌طوری‌که در نیم سده آینده، شدت امواج گرمایی در تبریز با ۱/۳؛ در مراغه با ۱؛ در جلفا با ۰/۷؛ در اهر با ۱ و در میلنه با ۱/٤ درجه سانتی‌گراد با افزایش قابل‌توجهی مواجه خواهد شد. به نظر می‌رسد با گرم‌تر شدن هوای کره زمین ناشی از اثرگذاری تغییرات اقلیم جهانی، امواج گرمایی کوچک‌تر به هم می‌پیوندند و امواج گرمایی شدیدتر، بزرگ‌تر و ماناتری را به وجود می‌آورند. همچنین نتایج این پژوهش نشان داد کاهش عرض جغرافیایی در این استان و همجواری با مناطق پست و کم‌ارتفاع، بسامد و شدت رخداد امواج گرمایی را بیشتر خواهد کرد. به نظر می‌رسد در سرتاسر این استان به‌تبع افزایش دما در بخش‌های جنوبی آن و گسترش

زمین‌های کم‌ارتفاع از یک‌سو و افزایش گرمایش جهانی و اثرگذاری زیاد آن بر اقلیم کره زمین از سویی دیگر، سبب تشدید رخداد امواج گرمایی و گسترش جغرافیایی این پدیده در این مناطق استان شده باشد؛ بنابراین نتایج این پژوهش تأییدی بر یافته‌های فولند و همکاران (۲۰۰۱)؛ کوکس و همکاران (۲۰۱۵)؛ تواردوژ و کوزوفسکا (۲۰۱۷)؛ اسمعیل‌نژاد و همکاران (۱۳۹۲)؛ بهاروندی و همکاران (۱۳۹۹) و دارند(۱۳۹۳) است.

کتابنامه

اسمعیل‌نژاد، مرتضی؛ خسروی، محمود؛ علیجانی، بهلول؛ مسعودیان، سید ابوالفضل؛ ۱۳۹۲. شناسایی امواج گرمایی ایران، *مجله جغرافیا و توسعه*. شماره ۳۳. ۵۴-۳۹. https://doi.org/10.22111/GDIJ.2013.1321

اعتمادیان، الهه؛ دوستان، رضا؛ ۱۳۹۶. تحلیل فضایی امواج گرمایی ایران. *نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*. شماره ۱، ۳۲-۱۷. http://jsaeh.khu.ac.ir/article-1-2697-fa.html

بهاروندی، نسیبه؛ مجرد، فیروز؛ معصوم‌پور، جعفر؛ ۱۳۹۹. شناسایی امواج گرمایی و تحلیل تغییرات زمانی- مکانی آنها در ایران، *نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*. شماره ۵۹. ۵۸-۳۹. http://jgs.khu.ac.ir/article-1-3146-fa.html

جهانبخش، سعید؛ قویدل، فاطمه؛ اشجعی، محمد؛ ۱۳۹۴. شناسایی، طبقه‌بندی و تحلیل همدیدی امواج گرمایی به منظور کاهش مخاطرات انسانی در شمال غرب ایران. *دانش مخاطرات*. شماره ٤. ۳۹۱-۳۷۷. 10.22059/JHSCI.2015.58265

حدادی، حسین؛ ۱۳۸۸. *تحلیل زمانی و مکانی امواج گرما در ایران*. پایان‌نامه کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی در برنامه‌ریزی محیطی. دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، گروه جغرافیا. دانشگاه تربیت مدرس. https://doi.org/10.22111/GDIJ.2014.1561

دارند، محمد؛ ۱۳۹۳. شناسایی و تحلیل زمانی – مکانی امواج گرمایی ایران زمین. *مجله جغرافیا و توسعه*. شماره ۳۵، ۱۸۰-۱٦۷. https://doi.org/10.22111/GDIJ.2014.1561

صادقی، سلیمان؛ دوستان، رضا؛ صانعی، معصومه؛ ۱۳۹٤. تحلیل فضایی-زمانی امواج گرمایی خراسان رضوی. *فصلنامه جغرافیایی سرزمین*، شماره ٤۷، ۳۱-۱۹. https://sarzamin.srbiau.ac.ir/article_9633.html

علیزاده، امین؛ ۱۳۹۱. *اصول هیدرولوژی کاربردی*. انتشارات دانشگاه امام رضا. مشهد: چاپ ۳٤. https://www.gisoom.com/book/11153333

قویدل‌رحیمی، یوسف؛ ۱۳۹۰. شناسایی، طبقه‌بندی و تحلیل سینوپتیک موج ابرگرم تابستان ۱۳۸۹ در ایران. *مطالعات جغرافیایی مناطق خشک*، شماره ۳. ۱۰۰-۸۵. https://jargs.hsu.ac.ir/article_161274.html

یزدان‌پناه، حجت‌الله؛ علیزاده، تیمور؛ ۱۳۹۰. برآورد احتمال وقوع امواج گرمایی با دوره‌های تداوم مختلف در استان کرمان به کمک زنجیره مارکف. *تحقیقات جغرافیایی*. شماره ۱۰۲. ۷۱-۵۱. https://journals.ui.ac.ir/article_17901.html

Astrom D, Forsberg B, Roclov J., 2011. Heat wave impact on morbidity and mortality in the elderly population: A review of recent studies, Maturities, 69: 99–105. https://www.maturitas.org/article/S0378-5122(11)00080-6/pdf

Atilgan A, Yucel A, Oz H, Saltuk B., 2016. Determination of Heating and Cooling Degree-Days for Broiler Breeding in the Tigris basin, Scientific. 20: 2285-2290. https://www.researchgate.net/publication/309321770.

Auroop R, Gangulya K. S, David J, Marcia B. S, Esther S. P, Nagendra S, John B. D, Lawrence B., 2009. Higher Trends but Larger Uncertainty and Geographic Variability in 21st Century Temperature and Heat Waves, 37: 301-315. https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.0904495106

Baldi M, Massimiliano P, Francesco C., 2004. Heat Wave in the Mediterranean Region Analysis and Model Results. Institute of Biometeorology, CNR. ROM. ITALY 10(5). https://ams.confex.com/ams/Annual2005/techprogram/paper_85262.htm

Confalonieri U, Menne B, Akhtar R, Ebi K.L, Hauengue M, Kovats R.S, Revich B, Woodward, A., 2007. Human health. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ar4_wg2_full_report.pdf

Cox R, Martin D, Carsten R, Susanne B., 2015. Simple future weather files for estimating heating and cooling demand, Building and Environment. 83: 104-114. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132314001024

D, Woodward A., 2003. Climate Change and Human Health, Risks and Responses, World Health Organization, Geneva. https://apps.who.int/iris/handle/10665/42742

Ding T, Qian W, Yan Z ., 2010. Changes in hot days and heat waves in China during 1961–2007, International Journal of Climatology. 30:1452-1462. https://www.researchgate.net/publication/227671017

Elizabeth M, Federico C., 2013. Variability and trends of heating degree-days in Argentina, International Journal of Climatology. 33: 2352-2361. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1512188718300800

Elizbarashvili M, Chartolani G, Khardziani T. 2018. Variations and trends of heating and cooling degree-days in Georgia for 1961–1990 year period, Annals of Agrarian Science. 16: 152-159. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1512188718300800

Farooq M, Bramley H, Palta J. A, Kadambot H. M. S., 2011. Heat Stress in Wheat during Reproductive and Grain-Filling Phases, Critical Reviews in Plant Sciences, 30: 491–507. https://doi.org/10.1080/07352689.2011.615687

Folland, C.K., T.R. Karl, J.R. Christy, R.A. Clarke, G.V. Gruza, J. Jouzel, M.E. Mann, J. Oerlemans, M.J. Salinger and S.-W. Wang., 2001. Observed Climate Variability and Change. In Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change[Houghton, J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, C.A. Johnson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WGI_TAR_full_report.pdf

Fricko F, Havlik P, Rogeli J, Klimont Z, Riahi K., 2016. The marker quantification of the Shared Socioeconomic Pathway 2: A middle-of-the-road scenario for the 21st century. Global Environmental Change, 42: 251-267. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959378016300784

Haddow G, Bullock J.A, Haddow K., 2008. Global warming, natural hazards and emergency management: CRC Press.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)., 2007. Summary for policy maker's climate change: The physical science basis. Contribution of working group I to the Fourth assessment report. Cambridge University Press, Cambridge, UK. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4-wg1-spm-1.pdf

JenSu H, JeanChen M, YaoLin Ch, ChunLung SH, ChihWu P, ISung T., 2013. Relationship between heat index and mortality of 6 major cities in Taiwan, Science of the Total Environment, 442: 275–281. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969712012685

Koppe C, Kovats S, Jendritzky G, Menne B., 2004. Heat waves: risks and responses. Health and Global Environmental Change Series, World Health Organization. Regional Office for Europe. https://apps.who.int/iris/handle/10665/107552.

Pusat S, Ekmekci I., 2015. A study on degree-day regions of Turkey, Energy Efficiency. 9: 525-532. https://link.springer.com/article/10.1007/s12053-015-9378-7

Rosa M, Vincenzo B, Federico S, Luca T. A., 2014. Heating and cooling building energy demand evaluation; a simplified model and a modified degree-day's approach, Theoretical and applied climatology, 96: 180-194. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0306261914004309

Sequera P, Rhone O, González J. E, Ghebreegziabher A. T, Bornstein R, Lebassi B., 2011. Impacts of climate changes in the Northern Pacific Coast on related regional scale energy demands. In ASME 2011 5th International Conference on Energy Sustainability. 249-257. https://asmedigitalcollection.asme.org/ES/proceedings-abstract/ES2011/54686/249/354538

Twardosz R, Ursezula K. C., 2013. Exceptionally Hot Summers in Central and Eastern Europe (1951–2010). Theron. Appl. Climatol, 112: 234-250. https://link.springer.com/article/10.1007/s00704-012-0757-0

Wolf T, McGregor G., 2013. The development of a heat wave vulnerability index for London, United Kingdom. Weather and Climate Extremes, 1: 59-68. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212094713000054

Zampieri M, Russo S, Di Sabatino S, Michetti M, Scoccimarro E, Gualdi S., 2016. Global Assessment of Heat Wave Magnitudes from 1901 to 2010 and Implications for the River Discharge of the Alps, Science of the Total Environment, 571: 1330-1339. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969716314516